

Ф. Д. ДРОБИЗ, Э. И. МЕЛЬНИКОВА, И. И. ШИЛОВА

СОДЕРЖАНИЕ ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ В РАСТЕНИЯХ, ВЫРАЩЕННЫХ НА КРАСНОМ ШЛАМЕ

В. И. Вернадским (1940, 1965) было установлено, что организмы (животные и растительные) являются концентраторами химических элементов, рассеянных в окружающей среде.

Растительные организмы очень чутко реагируют на избыток или недостаток тех или иных химических элементов в почвах, горных породах и водах. Растения не могут противостоять проникновению в них высоких, часто нефизиологических количеств ионов металлов (Малюга, 1963). Несмотря на способность отбора, корни постоянно вынуждены усваивать в определенных количествах тяжелые, нежелательные и индифферентивные ионы, если последние присутствуют в относительно высоких концентрациях и если реакция среды и другие факторы почвы допускают такое усвоение. (Тиссен, 1954). Поэтому имеется прямая связь между повышенным содержанием металлов в горных породах, почвах и произрастающих на них растений (Ткалич С. М., 1959). Концентрирование растениями химических элементов зависит от наличия в почвах элементов, соли которых усваиваются и накапливаются всеми растениями, живущими на этих почвах; в золе таких растений имеется повышенное количество данных элементов (первый тип концентрирования, по А. П. Шенникову, 1950). Красный шлак — отход глиноземного производства, является субстратом, более чем наполовину состоящим из элементов металлов, имеющих возможность переходить в подвижную форму. Следовательно, вполне вероятно концентрирование металлов растениями, выросшими на данном субстрате.

Цель настоящей работы заключалась в определении содержания железа и алюминия — элементов, занимающих наибольшую долю в химическом составе красного шлака, в растениях, выращенных на этом субстрате.

Объектами исследования являлись растения, поселяющиеся на шламовом отвале Уральского алюминиевого завода как естественным путем, так и выращенные в создаваемом на этом отвале культурфитоценозе. Представителем первой группы была сведа рожконосная (*Suaeda corniculata* (С. А. Mey.) Bge.); вторую группу

составили многолетние травянистые растения 4-го года жизни: рогнезия волокнистая (*Roegneria fibrosa* (Schrenk) Nevski), пырей бескорневищный (*Agropyron tenerum* Vasey.), бескильница Гаупта (*Puccinellia Hauptiana* (Trin.) V. Krecz), костер безостый (*Bromus inermis* Leyss.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), житняк ширококошлый (*Agropyron pectinifirme* Roem. et Schult) и люцерна синегибридная (*Medicago media* Pers.). Растения перечисленных видов брались для анализа с 2 вариантов опыта: шлам + почва; шлам + ил очистных сооружений. Растения сведы рожконосной (эдификатора пионерной растительности изучаемого отвала) брались для анализа, кроме того, и с «чистого» шлама.

Контролем служили растения соответствующих видов, выращенные на обычном субстрате — почве (темно-серой лесной, оподзоленном черноземе) — недалеко от отвала. Контрольные растения сведы взяты с солончака в 14 км от отвала.

Пробы растений для анализа брались в фазу цветения злаков и бутонизации бобовых. Одновременно с проведением анализов растений исследовался и субстрат (шлам и почва) на содержание железа и алюминия в «подвижных» формах. Объектами анализов в данном случае были: 1) «чистый» шлам, 2) почва, 3) «чистый» шлам из-под сведы рожконосной, 4) шлам + почва из-под пырея бескорневищного, 5) шлам + почва из-под люцерны синегибридной. «Чистый» шлам для анализа брался с трех ярусов склона дамбы отвала: нижнего, среднего и верхнего из 4 слоев: 0—5, 5—10, 10—20, 20—40 см; кроме того, анализировалась средняя проба из слоя 0—40 см. Образцы почвы для анализа были взяты из почвенного разреза в 2,5 км от отвала по 3-м горизонтам (А₀, А₁, В). Субстрат из-под растений брался по тем же слоям, что и «чистый» шлам.

Подготовка субстратов (шлам, почва, шлам + почва) для анализа производилась по методике А. В. Петербургского (1961).

Поскольку общепринятых приемов приготовления вытяжек для определения «подвижных», доступных растениям форм элементов для шлама в литературе не встречалось, то мы нашли возможным определять «подвижное» железо в вытяжке субстрата 0,2 н. соляной кислотой по А. Т. Кирсанову (Агрохимические методы исследования почв, 1960) и «подвижный» алюминий в вытяжке 0,1 н. хлористым калием по Е. А. Аринушкиной (1962).

Подготовка растительного материала для анализа производилась по методике, предложенной Г. Я. Ринькисом (1963).

Для определения железа и алюминия в растениях пользовались фотоколориметрическими методами анализа как наиболее точными и быстрыми и обычно применяемыми для определения микроэлементов в биологических объектах.

Железо в почве, шламе и растениях определялось с ортофенантролином, алюминий — с алюминоном (Сендел, 1964; Химический и спектральный анализы в металлургии, 1965; Буданова, Володарская и другие, 1966).

Как уже говорилось, большая часть в химическом составе шлама падает на долю металлов (63,5%), из которых преобладают железо и алюминий. Валовой химический состав красного шлама таков (в % на абсолютно сухую навеску): SiO_2 — 8,31; Fe_2O_3 — 40,95; FeO — 3,50; TiO_2 — 4,63; P_2O_5 — 0,97; Al_2O_3 — 14,52; CaO — 10,57; MgO — 1,07; SO_3 — 2,27; K_2O — 0,11; Na_2O — 2,48; C — 0,34; MnO — 0,30.

Из этих данных следует, что валовое содержание железа в шламе составляет 44,4%, алюминия — 14,5%, в то время как, по данным F. W. Clarke, V. M. Golldschmidt, A. E. Ферсмана, А. П. Виноградова (цит. по Ковде, Якушевской и другие, 1959), в почвах железа содержится в среднем 3,8%, а алюминия — 7,13%.

Но как агрономическое, так и физиологическое значение имеет не столько валовое содержание элементов в субстрате, сколько наличие доступных для растений подвижных форм.

Таблица 1

Содержание железа и алюминия в вытяжках шлама и почвы, %

Образец	Глубина взятия образца, см	Железо		Алюминий	
		водная вытяжка	вытяжка 0,2 н HCl	водная вытяжка	вытяжка 1 н KCl
Шлам с нижне- го яруса скло- на дамбы	0—5	0,019	0,32	0,019	0,32
	5—10	0,013	0,30	0,023	0,35
	10—20	0,018	0,29	0,029	0,39
	20—40	0,019	0,54	0,025	0,34
	0—40	0,019	0,39	0,024	0,33
Шлам со средне- го яруса скло- на дамбы	0—5	0,025	0,56	0,007	0,24
	5—10	0,018	0,41	0,007	0,24
	10—20	0,020	0,56	0,034	0,36
	20—40	0,017	0,45	0,034	0,35
	0—40	0,019	0,45	0,020	0,27
Шлам с верхне- го яруса скло- на дамбы	0—5	0,025	0,32	0,019	0,39
	5—10	0,022	0,27	0,020	0,31
	10—20	0,024	0,42	0,027	0,42
	20—40	0,023	0,43	0,023	0,36
	0—40	0,024	0,44	0,026	0,40
Почва	A ₀ 0—5	Не обн.	0,03	Не обн.	0,004
	A ₁ 5—47	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,002
	B > 47	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,004
	Средняя проба	Не обн.	0,03	Не обн.	0,002

Определение железа и алюминия в водной и кислотной вытяжках шлама (табл. 1) показало, что в подвижную, доступную для растений форму переходит лишь незначительная часть от валового содержания.

Как видно из таблицы, в водной вытяжке контрольной почвы железа и алюминия вообще не обнаружено, в то время как в вод-

ной вытяжке шлама содержится 0,013—0,025% железа и 0,007—0,034% алюминия. Кислотная вытяжка примерно в 20 раз увеличивает извлечение железа из шлама. Количество железа, извлекаемого из шлама 0,2 н. соляной кислотой, составляет 0,3—0,6%, т. е. в среднем около 0,45%. Из почвы же в кислотной среде извлекается не более 0,03%. Отсюда следует, что в шламе в доступной для растений форме железа содержится в 15 раз больше, чем в контрольной почве. Однако из 44,4% железа, содержащегося в красном шламе, в доступной для растений форме находится лишь 0,01 его часть.

Количество алюминия, экстрагируемое из шлама водной вытяжкой, составляет 0,007—0,034%, в то время как в водной вытяжке почвы его вообще нет. Количество алюминия, извлекаемое из шлама солевой вытяжкой, достигает 0,4% от веса шлама. Той же вытяжкой из контрольной почвы удастся извлечь алюминия до 0,004% от веса почвы. Это значит, что в доступной для растений форме алюминия в шламе содержится в 100 раз больше, чем в контрольной почве.

Следует отметить, что количество железа и алюминия, извлекаемых из шлама водой, кислотой и солью, не зависит от глубины взятия образца и незначительно колеблется по ярусам склона дамбы.

Известно, что растения обладают биохимически активной корневой системой, которая, поглощая из почвы воду и элементы минерального питания, в то же время воздействует на почву своими корневыми выделениями, способными растворять даже некоторые почвенные минералы. В связи с такой деятельностью корневых систем, сопровождающейся подкислением субстрата, количество

Таблица 2

Содержание железа и алюминия в субстрате, взятом под растениями, в % на воздушно-сухой вес

Субстрат	Вид растения	Глубина взятия образца, см	Железо		Алюминий	
			водная вытяжка	вытяжка 0,2н HCl	водная вытяжка	вытяжка 1н KCl
«Чистый» шлам	Сведа рожконосная	0—5	0,027	1,85	0,036	0,39
		5—10	0,027	1,11	0,040	0,38
		10—20	0,026	1,78	0,041	0,43
		20—40	0,025	1,49	0,045	0,41
Шлам + почва	Пырей бескорневичный	0—5	0,021	0,58	0,073	0,42
		5—10	0,021	0,71	0,070	0,44
		10—20	0,028	1,88	0,065	0,36
		20—40	0,023	1,47	0,070	0,43
Шлам + почва	Люцерна синегридная	0—5	0,021	0,26	0,034	0,39
		5—10	0,023	0,43	0,032	0,36
		10—20	0,026	0,72	0,049	0,35
		20—40	0,025	0,97	0,053	0,44

Таблица 3

**Содержание железа и алюминия в растениях со шламового отвала,
в % на абсолютно-сухой вес**

Вид	Субстрат	Железо		Алюминий	
		надземные побеги	корни	надземные побеги	корни
Сведа рожко-носная	«Чистый» шлам	0,23	0,98	0,083	0,10
	Шлам + почва	0,15	0,55	0,027	0,14
	Шлам + ил	0,19	0,79	0,015	0,11
	Почва (контроль)	0,11	0,48	0,055	0,23
Регнерия волокнистая	Шлам + почва	0,15	0,52	0,029	0,14
	Шлам + ил	0,20	0,42	0,017	0,12
	Почва (контроль)	0,08	0,26	0,019	0,08
Пырей бескорневищный	Шлам + почва	0,13	0,70	0,046	0,20
	Шлам + ил	0,18	0,67	0,025	0,11
	Почва (контроль)	0,09	0,34	0,029	0,07
Бескильница Гаупта	Шлам + почва	0,13	0,58	0,050	0,15
	Шлам + ил	0,19	0,74	0,018	0,13
	Почва (контроль)	0,07	0,26	0,020	0,10
Костер безостый	Шлам + почва	0,13	0,74	0,033	0,17
	Шлам + ил	0,23	0,70	0,018	0,13
	Почва (контроль)	0,09	0,29	0,019	0,10
Овсяница луговая	Шлам + почва	0,18	0,69	0,029	0,22
	Шлам + ил	0,22	0,59	0,018	0,13
	Почва (контроль)	0,08	0,36	0,020	0,08
Житняк широкококосый	Шлам + почва	0,13	0,66	0,039	0,18
	Шлам + ил	0,22	0,59	0,021	0,13
	Почва (контроль)	0,07	0,28	0,024	0,10
Люцерна синегибридная	Шлам + почва	0,16	0,72	0,036	0,15
	Шлам + ил	0,22	0,60	0,019	0,13
	Почва (контроль)	0,09	0,28	0,020	0,13

доступных для растений железа и алюминия в шламе должно возрасти. Это положение подтвердилось результатами анализа (табл. 2).

При сравнении данных табл. 1 и 2 выявляется, что в доступной для растений форме при воздействии на шлам корневых выделений растений увеличивается содержание железа более чем в 3 раза, алюминия — незначительно. Так, количество железа, извлекаемое кислотной вытяжкой из шлама, на котором произрастают растения (в частности, сведа), достигает 1,8%, в то время как из шлама без растений переходит в 0,2 н. соляную кислоту только до 0,6%.

Увеличение количества извлекаемых железа и алюминия раз-

лично в зависимости от вида растения. Так, если из субстрата, на котором произрастает пырей бескорневищный 0,2 н. соляной кислотой экстрагируется железа в среднем 1,16%, то субстрат из под люцерны содержит только 0,06% такого железа. Очевидно, корневая система различных растений обладает неодинаковой способностью переводить нерастворимые соединения химических элементов в растворимые. (Сведа в сравнение не взята, так как субстрат под ней иной, чем под двумя предыдущими видами).

Как уже отмечалось, химические элементы, находящиеся в почвенном растворе, попадают из него в растительные организмы и могут накапливаться здесь в органах и тканях. Посмотрим, как отражается повышенное количество железа и алюминия в субстрате шламового отвала («чистом» шламе, шламе с покрытиями) на содержание изучаемых элементов в растениях, поселившихся самостоятельно и выращенных на этом субстрате. В табл. 3 представлены результаты анализов массы побегов и корней растений с отвала на содержание в них железа и алюминия.

Из таблицы видно, что в растениях в условиях отвала содержится значительно больше железа и алюминия, чем в соответствующих растениях при их почвенной культуре. При выращивании на шламе с почвой и илом растения накапливают в среднем железа в 2 раза и алюминия в 1,2—1,8 раза больше, чем при их почвенной культуре. По отдельным видам растений это выглядит следующим образом.

Содержание в растениях железа

Регнерия волокнистая содержит в массе побегов на шламе с илом в 2,5, на шламе с почвой — в 2 раза больше железа, чем контрольные растения. Корни накапливают железа на шламе с илом в 1,5 и на шламе с почвой в 2 раза больше по сравнению с контрольными растениями.

Пырей бескорневищный в условиях отвала накапливает в надземной массе в 1,7 раза и в корнях в 2 раза больше железа, чем в контроле на почве.

— У сведа, произрастающей на чистом шламе, железа как в надземной массе, так и в корнях накапливается в 2 раза больше, чем в контрольных растениях с почвы. Сведа со шлама с почвой и со шлама с илом также содержит как в своей надземной части, так и в корнях больше железа, чем сведа с почвы.

Бескильница Гаупта в варианте «шлам+ил» в надземной массе содержит железа в 2,7 раза больше и в варианте «шлам++почва» — в 1,8 раза больше по сравнению с контрольными растениями на почве. В корнях бескильницы со шлама с почвой железа в 2,8 раза, а со шлама с илом — в 2,2 раза больше, чем в корнях растений с контроля на почве.

Костер безостый содержит железа в надземной массе на шла-

ме с почвой в 1,4 и на шламе с илом — в 2,6 раза больше, чем контрольные растения. Концентрация железа в корнях растений со шлама с почвой в 2,6 раза и со шлама с илом — в 2,4 раза больше, чем в корнях контрольных растений.

Овсяница луговая содержит железа в надземной массе на шламе с илом в 2,8 и на шламе с почвой — в 2,2 раза больше, чем контрольные растения с почвы.

Надземная масса житняка со шлама с илом накапливает железа в 3,1 раза, а со шлама с почвой — в 1,8 раза больше, по сравнению с контрольными растениями. Корни на шламе с почвой содержат железа в 2,4 раза, а на шламе с илом в 2,1 раза больше, чем корни контрольных растений.

Люцерна синегибридная содержит в надземной массе на шламе с илом в 2,4 раза, а на шламе с почвой в 1,8 раза больше железа, чем контрольные растения с почвы. В корнях железа накапливается на шламе с почвой в 2,6, а на шламе с илом в 2,1 раза больше, чем в корнях растений контроля.

Таким образом, у растений, выросших в условиях отвала, как в надземной массе, так и в корневой накапливается приблизительно в 2—3 раза больше железа по сравнению с контрольными, выращенными на почве, растениями.

Далее, из данных таблицы следует, что побеги и корни растений концентрируют железо в различной степени. У всех видов растений и во всех вариантах наблюдается большее содержание железа в корнях, чем в побегах (в 2,1—5,7 раза).

По-разному идет накопление железа в условиях отвала при применении для мелиорации шлама различного плодородного материала. Так, наибольшее содержание железа в надземных частях растений наблюдается на шламе с илом, корни же концентрируют больше железа у всех видов растений, кроме сведы, в варианте «шлам + почва».

Из данных таблицы также следует, что степень накопления железа зависит от вида растения. Так, например, при выращивании растений на шламе с почвенным покрытием на 1-м месте по количеству железа в надземных побегах стоит овсяница луговая, на 2-м — люцерна синегибридная, на 3-м — сведа рожконосная и регнерия омская, на 4-м — пырей бескорневищный, бескильница Гаупта, костер безостый и житняк ширококолосьй. По накоплению железа в корнях растения располагаются в несколько ином порядке. Последовательность в расположении видов по количеству накопленного железа в побегах и корнях зависит от субстрата («чистый» шлам, шлам + почва, шлам + ил).

Содержание в растениях алюминия

Как следует из данных таблицы, в концентрировании алюминия растениями, выросшими в условиях отвала, нет такой четкой закономерности, как в накоплении железа. Но тем не менее, зако-

номерность установить удастся, особенно в отношении концентрирования алюминия корнями. У всех видов растений, кроме сведы рожконосной, в условиях отвала как при выращивании на шламе с почвой, так и на шламе с илом алюминия в корнях растений концентрируется больше, чем при выращивании соответствующих видов растений на почве. Что касается накопления алюминия в массе побегов, то здесь закономерность несколько иная: содержание этого элемента в растениях со шлама с почвой больше, чем в контрольных растениях (у всех видов, кроме сведы), но в растениях со шлама с илом несколько меньше, чем в растениях с почвой. Сведы «на чистом» шламе в надземной массе накапливает алюминия больше, чем в контроле на почве, но на шламе с почвой и шламе с илом — меньше контрольных растений.

В распределении алюминия по органам растений (имеются в виду побеги и корни) наблюдается та же закономерность, что и в распределении железа: у всех видов растений во всех вариантах больше алюминия (в 1,2—7,6 раза) содержится в корнях, чем в побегах. Подобная закономерность при выращивании растений на почвенном субстрате отмечена и Т. П. Фроловской (1963).

Накопление алюминия, как и железа, происходит по-разному в растениях различных вариантов опыта. Растения концентрируют больше алюминия как в побегах, так и в корнях при выращивании на шламе с почвой, чем на шламе с илом.

Растения различных видов обладают неодинаковой способностью накапливать алюминий, как и железо, в побегах и корнях. На 1-м месте по накоплению алюминия в надземных побегах в варианте «шлам+почва» стоит бескильница Гаупта, за ней следуют пырей бескорневищный, житняк ширококолосьй, люцерна синегибридная, костер безостый, регнерия волокнистая и овсяница луговая, на последнем месте — сведы рожконосная. По степени накопления алюминия в корнях тех же растений последовательность иная. Иная последовательность наблюдается и в других вариантах. Различная степень накопления алюминия разными видами растений, как указывают В. В. Ковальский, Н. С. Петрунина (1965), зависит от физиологической природы растения (обмен веществ, строения).

Сравнение количества железа и алюминия в растениях говорит о большем концентрировании растениями железа, чем алюминия, что находится в прямой зависимости от количества этих элементов в субстрате (как валового их количества, так и содержания в подвижной, доступной для растений форме). В растениях изучаемых видов, выращенных в условиях отвала, железа содержится в среднем в надземных побегах в 2—12,8 раза и в корнях в 2,1—9,8 раза больше, чем алюминия.

Явление концентрирования металлов растениями, произрастающими на специфических субстратах антропогенного происхождения, отмечается рядом исследователей. Так, Рисом и

Сидраком (W. J. Rees and G. H. Sidrak, 1955) было установлено, что растения, выращенные на каменноугольной золе, по сравнению с контрольными, выращенными на почве, всегда имеют избыток алюминия и марганца. Опыты этих исследователей, проведенные с растениями в сосудах, показали, что ряд растений накапливают Al и Mn в листьях в токсических для растений количествах (Rees, Sidrak, 1956). Холлидей, Таусенд и Хоудсон (Holliday, Tonsend Hodson, 1959), установив повышенное содержание алюминия в растениях, выращиваемых на каменноугольной золе, также отмечают явление алюминиевой токсичности этого субстрата при высоком значении pH. В нашем опыте вопрос токсичности алюминия, а также железа, накапливаемых в большом количестве растениями, специально не изучался, поэтому можно лишь предполагать о токсическом действии этих элементов в условиях отвала по состоянию растений. Но в то же время такие показатели состояния растения в условиях отвала, как снижение интенсивности ростовых процессов, уменьшение размера и веса органов, снижение семенной продуктивности растений, уменьшение абсолютного веса семян, угнетение корневой системы, изменение окраски, засыхание листьев и др., являющиеся симптомами токсичности, в частности, алюминия (Авдонин, Миловидова и другие, 1957; Фроловская, 1963а, 1963б; Rees, Sidrak, 1956), могут быть следствием действия и других факторов (например, недостатка азота) и вообще являются следствием действия всего комплекса отрицательных факторов отвала. Поэтому для того, чтобы делать выводы о действии высокой концентрации алюминия и железа на рост и развитие растений, надо эти факторы отделить от других, чего в наших опытах не предусматривалось.

ВЫВОДЫ

1. Красный шлак — отход глиноземного производства, характеризуется как высоким валовым содержанием железа и алюминия, так и высоким содержанием этих элементов в «подвижной», доступной для растений форме.

2. При воздействии на шлак корневых выделений растений подвижность железа и алюминия увеличивается.

3. При выращивании растений на шламовом отвале наблюдается значительное концентрирование ими железа и алюминия, проявляющееся в различной степени у разных видов растений и в различных вариантах улучшения шламового субстрата.

4. При выращивании на шламе с почвой или илом растения накапливают в среднем железа в 2 раза, а алюминия в 1,2—1,8 раза больше, чем при выращивании их на почве.

5. В корневой системе растений железа и алюминия концентрируется в несколько раз больше, чем в надземной массе.

ЛИТЕРАТУРА

Авдонин Н. С., Миловидова Е. П., Максимова Е. Д., Фроловская Т. П., 1957. Влияние алюминия и марганца на обмен веществ в растениях и структуру урожая.— Вестн. МГУ, № 2. Агрохимические методы исследования почв. 1960.

Аринушкина Е. В., 1962. Руководство по химическому анализу почв. МГУ.

Буданова Л. М., Володарская Р. С., Канаев Н. А., 1966. Анализ алюминиевых и магниевых сплавов. М., «Металлургия».

Вернадский В. И., 1940. Биогеохимические очерки. М.—Л., АН СССР.

Вернадский В. И., 1965. Химическое строение биосферы земли и ее окружения. М., «Наука».

Ковальский В. В., Петрунина Н. С., 1965. Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений.— В сб.: Проблемы геохимии. М., «Наука».

Ковда В. А., Якушевская И. В., Тюрюканов Н. А., 1959. Микроэлементы в почвах Советского Союза. МГУ.

Малюга Д. П., 1963. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М., АН СССР.

Петербургский А. В., 1961. Пособие для работников агрохимических лабораторий. М., изд-во с.-х. литературы, журналов и плакатов.

Ринькис Г. Я., 1963. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов в биологических объектах. Рига, АН Лат. ССР.

Сендел Е. Б., 1964. Колориметрические методы определения следов металлов. М., «Мир».

Тиссен С., 1954. Геохимические и фитобиологические связи в свете прикладной геофизики.— В сб.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., ИЛ.

Ткалич С. М., 1959. Практическое руководство по биохимическому методу поисков рудных месторождений. М., АН СССР.

Фроловская Т. П., 1963а. Влияние алюминия на растения и способы регулирования его действия. Автореферат диссерт. на соискание ученой степени канд. биол. наук. МГУ.

Фроловская Т. П., 1963б. Влияние критических пределов содержания в почве подвижных форм алюминия для ряда важных сельскохозяйственных культур. Вторая межвузовская научно-отчетная конференция «Университеты — сельскому хозяйству». ЛГУ.

Химический спектральный анализ в металлургии. 1965. М., «Наука».

Шенников А. П., 1950. Экология растений. М., «Сов. наука».

Holliday R., W. Tonsend, D. Hodson, 1955. Plant growth on "fly-ash" Nature, v. 176, N 4490.

Rees W. J. and G. H. Sidrak. 1955. Plant growth on "fly-ash". Nature, v. 176, N 4477.

Rees W. J., G. H. Sidrak. 1956. Plant nutrition on "fly-ash". Plant and Soil, VIII, n 2.